

Construcción de un Proyecto de Generación Hidroeléctrica:

Enfoque del Valor de la Opción

Recibido para evaluación: 20 de Septiembre de 2002
Aceptación: 22 de Noviembre de 2002
Recibido versión final: 2 de Diciembre de 2002

Clara Inés Villegas P.¹

RESUMEN

El presente trabajo apunta al desarrollo de un análisis, que utilizando el enfoque del valor de la opción, permite encontrar el momento óptimo (desde el punto de vista ambiental), para la construcción de un proyecto de generación eléctrica en una zona con determinadas características ambientales. La construcción de un proyecto de generación hidroeléctrica, constituye una decisión de carácter irreversible y con la incertidumbre asociada al carácter estocástico que presenta el grado de deterioro ambiental de la zona de localización del proyecto. La evolución del deterioro ambiental de la zona de estudio puede captarse a través de la variable "C" de deterioro ambiental. El análisis aquí desarrollado permite la caracterización de una regla (o una barrera de deterioro ambiental llamada C*) que determina cuándo es óptimo construir el proyecto de generación o conservar los ecosistemas de la zona de localización. Cuando el valor del deterioro ambiental se encuentra por encima de esta barrera, se hace óptima la construcción del proyecto y por debajo de ella se privilegia la conservación de los ecosistemas de la zona.

PALABRAS CLAVE: Deterioro Ambiental, Proyectos de Generación Eléctrica, Valor de la Opción.

ABSTRACT

Work present work aims at the development of an analysis, that using the option value approach, allows to find the optimal moment (from the environmental point of view), for the construction of an electrical project generation in a zone with determined environmental characteristics. The construction of the project, constitutes an irreversible decision and with uncertainty associated. The evolution of the environmental damage of the zone can be attract through the variable C of environmental damage. The analysis developed here allows the characterization of a rule (or a barrier of environmental damage called C*) that determines when is optimal to construct the generation project or to conserve the ecosystems of the zone of location. Over this barrier, the construction of the project becomes optimal and below her the conservation of the ecosystems of the zone is privileged.

KEY WORDS: Enviromental Damage, Electrical Project Generation, Option Value.

1. Magíster en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente
civillegas@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN²

Las obras que se realizan para garantizar el equipamiento social general, y los proyectos de inclusión e implementación de procesos de transformación de las regiones, tales como grandes explotaciones mineras, centrales de generación eléctrica, líneas de transmisión o distribución de energía eléctrica, etc., constituyen proyectos de desarrollo.

Para la planeación, ejecución y puesta en marcha de un proyecto de desarrollo, se requiere aplicar una serie de acciones sobre el medio natural y social, que son las que de manera inmediata ocasionan el impacto ambiental, entendiéndose por este la transformación que se produce en el medio ambiente como resultado de dichas acciones.

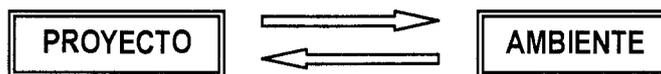
Los estudios para el establecimiento de cualquier proyecto de desarrollo, partían de la base de que su relación con el medio circundante no alteraría este último, lo que se puede expresar gráficamente de la siguiente manera:

Figura 1.
Relación proyecto ambiente –
Concepción "ambiente infinito"



Esta concepción refleja que el proyecto es un sistema, pero que el ambiente no lo es; en este caso, el ambiente es capaz de absorber cualquier tipo de salidas, es decir, de efectos que el proyecto pueda producir, y ninguna de ellas tiene repercusión sobre lo que son las entradas futuras para el proyecto; esta concepción se denomina "ambiente infinito". Los hechos fueron mostrando que esta concepción es errónea y que en su lugar es necesario pensar en un ambiente que interactúa permanentemente con el proyecto.

Figura 2.
Relación proyecto ambiente –
Nueva concepción



Dado que el ambiente no es "infinito", las zonas elegidas para la implantación de un proyecto de desarrollo pueden tener dentro de sí áreas aptas para la ubicación del mismo, áreas con niveles de complejidad progresivos -llamados criticidades-, y áreas restringidas donde definitivamente no es factible la localización del proyecto.

La criticidad ambiental se refiere al nivel o grado de dificultad a los que se somete la implantación de un proyecto, en función de la vulnerabilidad del ambiente frente al mismo, de la amenaza del ambiente al proyecto, de la complejidad de la gestión y de los costos de gestión correspondientes. La criticidad ambiental se determina a partir de la caracterización de los factores ambientales, de los distintos grados de vulnerabilidad propios de los factores ambientales comprometidos en el área potencial de un proyecto, de la complejidad de la gestión que deba adelantarse y de los costos de gestión ambiental asociados a dicha complejidad.³

Una restricción ambiental, es una limitación total impuesta para la realización de un proyecto sobre un área geográfica determinada en razón de las características ambientales de la misma. Esta limitación se define en función de la legislación específica, de la extrema fragilidad del ambiente, de la amenaza grave del ambiente al proyecto, de los altos costos que impone la complejidad técnica o tecnológica que requiere la implantación del proyecto, y de la incompatibilidad con otros proyectos de infraestructura. Las restricciones hacen inviables los proyectos independientemente de la gestión ambiental que se desarrolle.⁴

12 En la primera parte de este numeral se seguirá a Angel S. E, Carmona, S.I. y Villegas L.C. *Gestión Ambiental en Proyectos de Desarrollo. Una propuesta desde los Proyectos energéticos. Fondo FEN, Santafé de Bogotá, 1996.*

3. ISA. *Estudio de restricciones y posibilidades ambientales para los proyectos de transmisión. Plan de expansión 2001-2010.*

4. *Idem, 2.*

Puede verse entonces que estos grados de aptitud del ambiente frente a la construcción del proyecto dependen de las características ambientales de la zona donde se va a localizar, de su grado de intervención, y por tanto de su fragilidad ante el desarrollo de los mismos.

Tales características y por tanto el grado de aptitud de una zona para la localización de un proyecto, pueden ser capturadas por una variable denominada "deterioro ambiental" que las agrega, esta variable en adelante se representará como C , con $C > 0$.

El valor de C depende del momento en el cual sea evaluada ya que una misma zona puede presentar grados de criticidad diferentes en distintos momentos del tiempo, es decir, C es función del tiempo ($C=C(t)$). A mayor valor de $C(t)$, menor flujo de bienes y servicios por parte de los ecosistemas y por tanto mayor aptitud del ambiente frente a la construcción de un proyecto. Cuando existe una restricción ambiental, el valor de la variable "deterioro ambiental" de la zona del proyecto es muy bajo. $C(t)$ tiene un comportamiento aleatorio ya que depende de procesos sociales y físico-bióticos que no tienen un carácter determinístico⁵.

Teniendo en cuenta lo anterior, partiendo de la base de que tanto el proyecto como el ambiente son sistemas que interactúan constantemente, y que las zonas donde se van a localizar los proyectos tienen diferentes grados o niveles de criticidad y por tanto diferentes grados de deterioro ambiental, se consideran de gran importancia las acciones que logren minimizar o anular los efectos negativos del proyecto, y potencializar aquellos que revertan beneficios tangibles desde las diferentes etapas del mismo; dentro de estas acciones se encuentra la opción de no realizar el proyecto cuando es más conveniente *conservar el (los) ecosistemas del área de localización del proyecto*.

El presente trabajo tiene como objetivo derivar una expresión analítica para $C(t)$ por debajo de la cual es preferible conservar los ecosistemas existentes en la zona por los bienes y/o servicios ambientales que prestan, y por encima de la cual se realiza el proyecto, es decir, que define el límite por debajo del cual se considera una restricción ambiental. Dicha expresión analítica será considerada como una barrera y se denotará como C^* . Lo anterior se realiza a través del enfoque del valor de la opción.

2. PLANTEAMIENTO DEL MODELO

Se asume que los ecosistemas de la zona de localización del proyecto de generación eléctrica, ofrecen un flujo de determinados bienes y/o servicios ambientales que pueden ser valorados y que tienen una relación inversa con $C(t)$: a mayor valor de $C(t)$, menor valor en los bienes y servicios ambientales. Esta variable, para efectos del presente trabajo, se asume que sigue un proceso estocástico Browniano geométrico dado por la ecuación:

$$(1) \quad dC = \mu C dt + \sigma C dW$$

Donde:

μ es la tendencia media del proceso;

σ es la desviación estándar del mismo y

dw es el incremento en el proceso de Wiener que tiene valor esperado cero [$E(dw)=0$] y desviación estándar uno.

Asumir un proceso browniano geométrico parece plausible, dada la tendencia al aumento en la degradación de los ecosistemas con el tiempo, degradación inducida en general por procesos socioeconómicos; y dada la incertidumbre asociada con este proceso de degradación ya que depende no solo de las características de cada ecosistema -como su capacidad de carga- sino de procesos antrópicos.

La construcción de un proyecto de generación eléctrica y los efectos de éste sobre el ambiente constituyen una decisión irreversible⁶; la teoría del valor de la opción plantea que hay una función de valor V (desconocida) que para este caso representa el valor de la opción de conservar el ecosistema, y que está en términos de la variable "deterioro ambiental" $V = V(C)$.

5. Procesos sociales como colonización y procesos físico-bióticos como la contaminación en una cuenca.

6. Especialmente cuando se trata de proyectos hidroeléctricos

Teniendo en cuenta esta función, la construcción del proyecto, esto es, la no-conservación de los ecosistemas, es una decisión óptima cuando se cumple la siguiente condición conocida como la ecuación de Bellman:

$$(2) \quad \delta V(c) = C + \frac{1}{dt} E_t [dV(c)]$$

Donde δ es la tasa de descuento, E_t representa el valor esperado de una función en el tiempo t y $dV(C)$ es el diferencial de la función de valor que hasta el momento es desconocida.⁷

Como la función V está en términos de la variable estocástica C , puede aplicarse el lema de Ito para encontrar el proceso estocástico que rige esta variable V , es decir, para encontrar dV :

$$(3) \quad dV = [\mu CV'(C) + \frac{1}{2} \sigma^2 C^2 V''(C)] dt + \sigma CV'(C) dW$$

Aplicando el operador esperanza y sabiendo que $E(dW)=0$:

$$(4) \quad \begin{aligned} E(dV) &= dt [\mu CV'(C) + \frac{1}{2} \sigma^2 C^2 V''(C)] \\ \frac{1}{dt} E[dV] &= \mu CV'(C) + \frac{1}{2} \sigma^2 C^2 V''(C) \end{aligned}$$

Sumando C a ambos lados de la última ecuación:

$$(5) \quad \begin{aligned} C + \frac{1}{dt} E[dV] &= C + \mu CV'(C) + \frac{1}{2} \sigma^2 C^2 V''(C) \\ \delta V(C) &= C + \mu CV'(C) + \frac{1}{2} \sigma^2 C^2 V''(C) \end{aligned}$$

Donde $V'(C)$ y $V''(C)$ son las primeras y segundas derivadas de la función de valor.

La anterior es una ecuación diferencial no homogénea de segundo orden que tiene una solución a la parte homogénea y una solución particular.

Las soluciones homogéneas $V_H(C)$ y particulares $V_p(C)$ a la ecuación diferencial planteada anteriormente son las siguientes:

$$\begin{aligned} V_H(C) &= k_1 C^{-\alpha} + k_2 C^\beta \\ V_p(C) &= \frac{C}{\delta - \mu} \end{aligned}$$

Si se analiza cada una de estas soluciones puede inferirse que es necesario que k_2 sea igual a cero: Cuando se tiene un valor muy alto para C , los ecosistemas ofrecen muy poca cantidad de bienes y/o servicios ambientales, esto haría que el valor de la opción de conservar los ecosistemas sea muy baja y que sea más conveniente construir el proyecto, para que esto suceda ($V_H(C)=0$), es necesario que k_2 tienda a cero teniendo en cuenta que $\alpha > 0$ y $\beta > 1$ ⁸.

7. Si $d < m$, nunca será óptima la conservación de los ecosistemas; por el contrario, si $d > m$, existirá un valor en el deterioro ambiental denotado por C^* por encima de la cual se hace óptima la construcción del proyecto de generación por no causar tanto daño en los ecosistemas dado que estos ya están deteriorados. Se asume entonces que $d > m$. Esto se demostrará en la sección de análisis de parámetros y resultados.

8.

$$\beta = (1/2 - \mu/\sigma^2) + \sqrt{(1/2 - \mu/\sigma^2)^2 + 2\delta/\sigma^2}$$

$$-\alpha = (1/2 - \mu/\sigma^2) - \sqrt{(1/2 - \mu/\sigma^2)^2 + 2\delta/\sigma^2}$$

Puede entonces escribirse la siguiente ecuación como la solución completa a la ecuación diferencial representada por $dV(C)$

$$(7) \quad V(C) = kC^{-\alpha} + \frac{C}{\delta - \mu}$$

Con el fin de obtener el valor crítico para el deterioro ambiental C^* donde sería indiferente la opción de conservar los ecosistemas o construir el proyecto, es necesario agregar las condiciones de "mismo valor en el óptimo" (value - matching) y misma pendiente en el óptimo (smooth - pasting).

La primera de estas ecuaciones iguala el valor de la opción de conservar el ecosistema con el valor de los bienes y/o servicios ofrecidos por el ecosistema en el cual piensa localizar el proyecto representado por S , esto es: $V(C^*) = S$; la segunda condición iguala las pendientes de las funciones $V(C^*)$ y S ; dado que S no depende de C , el valor de la pendiente es cero y por tanto $V'(C^*) = 0$. Estas condiciones proporcionan dos ecuaciones adicionales que permiten encontrar las soluciones para las incógnitas k y C^* y que se presentan a continuación:

$$(8) \quad \begin{aligned} kC^{-\alpha} + \frac{C}{(\delta - \mu)} &= S \\ -\alpha kC^{-(\alpha+1)} + \frac{1}{\delta - \mu} &= 0 \end{aligned}$$

De las anteriores ecuaciones se obtiene para C^* :

$$(9) \quad C^* = \frac{S\alpha(\delta - \mu)}{\alpha + 1}$$

El valor crítico del deterioro ambiental, es el valor por encima del cual se hace mejor la construcción del proyecto de generación eléctrica antes que conservar los ecosistemas por los bienes y servicios ambientales que ellos ofrecen. Si se mira desde el punto de vista de la entidad gestora del proyecto, es más conveniente mientras esa barrera C^* sea más baja, es decir que para conservar el ecosistema se requiera una mayor cantidad y/o calidad de servicios ambientales ofrecidos por éste, traducido esto en un menor deterioro ambiental, ya que así el valor de la opción de construir el proyecto será mayor que el valor de la opción de conservar el ecosistema; puede decirse de acuerdo con lo anterior, que se exigen mayores características en la calidad ambiental del ecosistema para imponer una restricción o mayor criticidad ambiental a la zona de localización del proyecto.

Si se analiza desde el punto de vista de las autoridades ambientales o de la sociedad, es más conveniente mientras más alto sea dicho valor crítico para C^* porque así se privilegia la opción de conservar el ecosistema sobre la opción de construcción del proyecto de infraestructura en cuestión; para que se privilegie la construcción del proyecto sobre la opción de conservación, los ecosistemas deben tener un mayor grado de deterioro.

3. ANÁLISIS DE DIFERENTES PARÁMETROS Y RESULTADOS

En esta sección se intenta hacer una simulación numérica del comportamiento de la barrera C^* que representa el límite por debajo del cual se toma la decisión de conservación y por encima de la cual se privilegia la construcción del proyecto.

Se presentan varios casos hipotéticos dada la falta de información para estudiar casos reales, estos escenarios son contruidos con el fin de observar la variación obtenida en la barrera C^* ante cambios en el valor de los parámetros.

Esto constituye un ejercicio de "estática comparativa" en donde se pretende observar la variación de C^* ante cambios en las otras variables (μ , σ , δ , S). Se pretende además determinar las relaciones que deben existir entre estos parámetros, es decir, si existe alguna restricción del tipo que un parámetro sea mayor o menor que otro, para garantizar que se dejen las dos decisiones posibles: construir o conservar.

Parámetro	Escenario base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
μ	0.01	0.05	0.01	0.01	0.04	0.01
σ	0.20	0.20	0.20	0.50	0.20	0.20
δ	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05
S	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	300.00
α	1.35	1.78	0.08	0.32	2.16	1.35
C^*	13.79	-15.37	0.00	5.85	4.10	6.90
k	8836.24			801.45	3993.31	1732.26

3.1. Escenario base

Inicialmente se muestra un escenario base en el que se tiene una media m de 0.01, una desviación estándar σ de 0.2, una tasa de descuento $\delta > \mu$ igual a 0.05. El valor de los bienes y servicios del (los) ecosistema (s) se toma como 600. Este escenario base se toma como referencia para observar las variaciones de C^* ante cambios en los otros parámetros del modelo.

Con estos valores para los parámetros involucrados en la expresión que caracteriza a C^* , el valor crítico para la barrera de calidad ambiental C^* es 13.79; es decir, *para este escenario*, cuando la variable $C(t)$ de deterioro ambiental tiene un valor inferior a 13.79, se toma la decisión de conservar el ecosistema; si por el contrario, el valor es superior a 13.79, se toma la decisión de construir el proyecto.

3.2. Escenario uno

Este caso fue construido para mostrar que si se quiere tener la opción de conservar el ecosistema, el valor de la tasa de descuento debe ser mayor que el valor de la media μ . Como se mencionó en secciones anteriores, aquí se muestra que cuando $\delta < \mu$, nunca será viable la conservación del ecosistema ya que el valor para la barrera C^* es negativo, la variable $C(t)$ para cualquier ecosistema siempre estará por encima de este valor, esto se traduce en que *para este escenario*, en el cual el valor de la media es superior al de la tasa de descuento, siempre será mejor construir el proyecto antes que conservar.

3.3. Escenario dos

Al igual que en el escenario anterior, cuando la tasa de descuento es igual a la media, no será viable la conservación de los ecosistemas ya que para este caso la barrera de deterioro crítico por encima del cual se construye el proyecto es igual a cero. En este caso, es decir, cuando la tasa de descuento es igual a la media, al igual que en el escenario anterior, siempre será mejor construir el proyecto, ya que el valor para el deterioro ambiental siempre estará por encima del valor crítico que en este caso es cero. Para garantizar entonces que existe la posibilidad de construir el proyecto, la tasa de descuento no debe ser igual a la media.

3.4. Escenario tres

En el escenario tres, cuando el valor de la degradación ambiental de los ecosistemas está por debajo de 5.85 se privilegia la opción de conservación del ecosistema; en caso contrario, es decir, cuando la degradación ambiental está por encima de 5.85 es conveniente la construcción del proyecto.

De la comparación entre este escenario y el escenario base, puede notarse que cuando la desviación estándar del proceso es menor (como en el caso base), la barrera C^* es mayor; es decir, para tomar la decisión de construir el proyecto antes que conservar los ecosistemas, estos deben tener un grado de deterioro o intervención mayor. Comparando entonces este escenario con el escenario base, en este escenario las condiciones para la construcción del proyecto son menos exigentes ya que el grado de deterioro necesario para viabilizar la construcción es menor.

3.5. Escenario cuatro

Para este escenario, cuando el valor de degradación de los ecosistemas está por debajo de 4.1 es mejor conservar los ecosistemas antes que construir el proyecto.

En este escenario se varió el valor de la media del proceso, y se observa que cuando el valor de la media es mayor, es decir, cuando la diferencia entre la tasa de descuento y la media es menor, la barrera o el valor de degradación límite de los ecosistemas también disminuye con respecto al que se presenta en el caso base. Lo anterior indica que en este escenario, para la construcción del proyecto, debe existir una degradación menor que la que debe existir en el caso base.

3.6. Escenario cinco

Finalmente, en el caso cinco se muestra que cuando disminuye el valor de los bienes y servicios prestados por el ecosistema (S), se reduce el valor del deterioro ambiental necesario para construir el proyecto, esto es, el valor de la barrera C^* . En este escenario entonces no se tienen condiciones tan exigentes para la construcción del proyecto como en el caso base. Análogo a lo anterior, cuando aumenta el valor del flujo los bienes y servicios prestados por el ecosistema, el valor para la barrera C^* es mayor, haciéndose entonces más exigentes las condiciones para la construcción del proyecto.

4. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se presenta el enfoque del valor de la opción como una herramienta de gestión en la etapa de selección de alternativas, facilita la toma de decisiones acerca del momento óptimo desde el punto de vista ambiental, para la construcción de un proyecto de generación eléctrica en una zona con determinadas características ambientales que evolucionan con el tiempo.
- Esta decisión tiene tres características básicas: es irreversible, tiene incertidumbre asociada al carácter estocástico de la variable de deterioro ambiental de la zona, y existe un momento óptimo para tomar la decisión de construcción del proyecto.
- El análisis presentado anteriormente parte de la evaluación del deterioro ambiental en una zona posible de localización, evaluación que se ve reflejada en el valor de la variable C y que teniendo en cuenta la importancia que el tema ambiental ha ido adquiriendo en los últimos años, tiene un peso bastante significativo en el momento de analizar la viabilidad de determinado proyecto de desarrollo; se asume aquí que dicha variable (deterioro ambiental) sigue un proceso estocástico del tipo browniano geométrico.
- Se obtiene del análisis mencionado una expresión analítica para C^* , es decir, para aquel valor crítico del deterioro ambiental por debajo del cual es mejor conservar el (los) ecosistemas de la zona y por encima de la cual es mejor construir el proyecto de generación eléctrica.
- La expresión obtenida para esta variable C^* sugiere que el valor de dicha barrera de deterioro ambiental por encima de la cual se opta por la construcción del proyecto, depende del valor de los bienes y servicios ofrecidos por los ecosistemas de la posible zona de localización que se está evaluando, de la tasa de descuento y de la tendencia media del proceso que sigue la variable aleatoria "deterioro ambiental".

5. BIBLIOGRAFÍA

- Angel, E., Carmona, S. I. y Villegas, L.C. 1996. Gestión Ambiental con énfasis en Proyectos de Desarrollo Fondo FEN. Santafé de Bogotá.
- Conrad, J.M. 1997. ON the option value of old-growth forest, ecological economics, 22:97-102
- Dixit, A., S.Pindyck R.. 1994. Invest under uncertainty, Princeton University press, Princeton, New Jersey.
- ISA. 1998. Estudio de restricciones y posibilidades ambientales para los proyectos de transmisión. Plan de expansión 2001-2010. Tomo I y II. Medellín.
- ISAGEN S.A. E.S.P. 1996. Selección y recomendación de sitios adecuados para la instalación de turbo gases y ciclos combinados – metodología y resultados. Informe presentado al Ministerio del Medio Ambiente. Santafé de Bogotá D.C. Agosto.

